

# Champs d'héliostats : améliorations fondées sur la notion de pavage de l'angle solide vu du récepteur

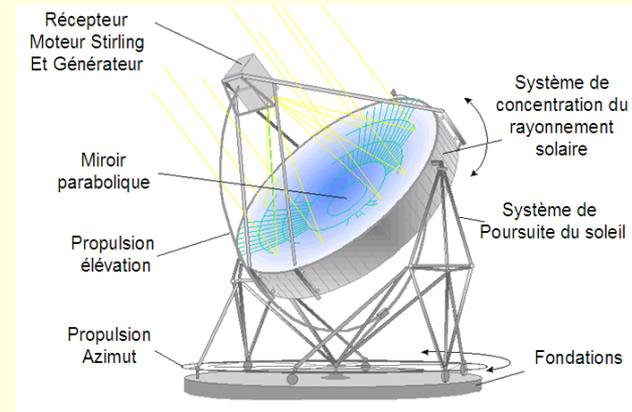
SFT, 13 juin 2012

Denis Bonnelle, [Denis.Bonnelle@normalesup.org](mailto:Denis.Bonnelle@normalesup.org)



# Les champs d'héliostats : avantages

Dans la famille « focalisation en 1 point », les champs d'héliostats ont les avantages symétriques des inconvénients du dish-Stirling



- Poursuite du soleil par des héliostats plus rustiques
- Forte puissance et fixité du récepteur
- Marché bien distinct de celui du photovoltaïque

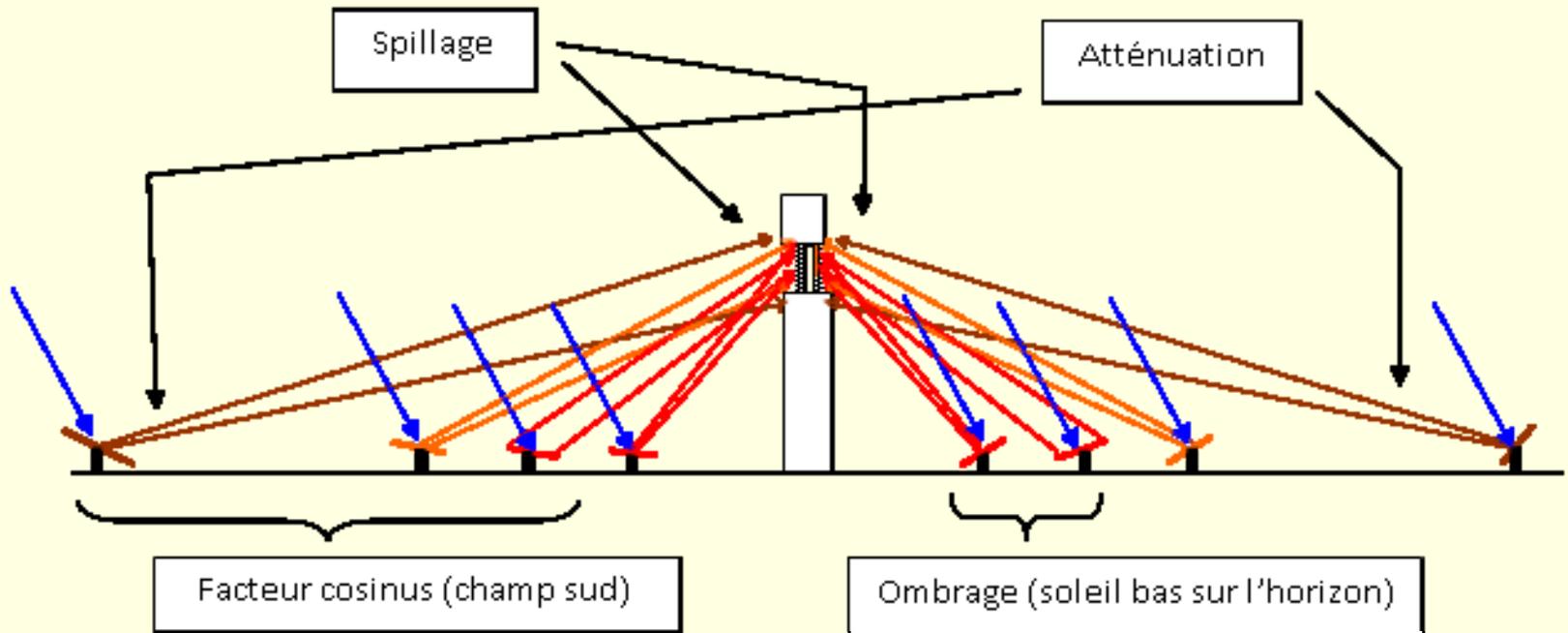
# Les champs d'héliostats : inconvénients

---

Mais en contrepartie, les champs d'héliostats valorisent moins bien chaque m<sup>2</sup> de miroir, en raison de 5 phénomènes :

- Ombrage (shadowing)
- Blocage
- Facteur cosinus
- (Ga)Spillage (étalement, dispersion)
- Atténuation par l'air poussiéreux proche du sol

# Les champs d'héliostats : inconvénients

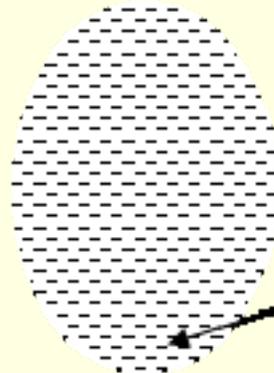


# Champ d'héliostats en configuration minimale

Si les héliostats étaient le facteur de coût principal, on pourrait limiter leur champ à la configuration la plus favorable :

Pas d'héliostats trop lointains pour éviter spillage et atténuation

Champ Nord seul  
pour maximiser  
le facteur cosinus



Densité d'héliostats  
pas plus forte  
au pied de la tour,  
pour ne pas augmenter  
le risque d'ombrage

# Champ d'héliostats en configuration minimale ?

---

Mais comme il y a d'autres facteurs de coût importants (la tour est un coût fixe, d'autres éléments sont à économies d'échelle), on fait souvent des compromis entre :

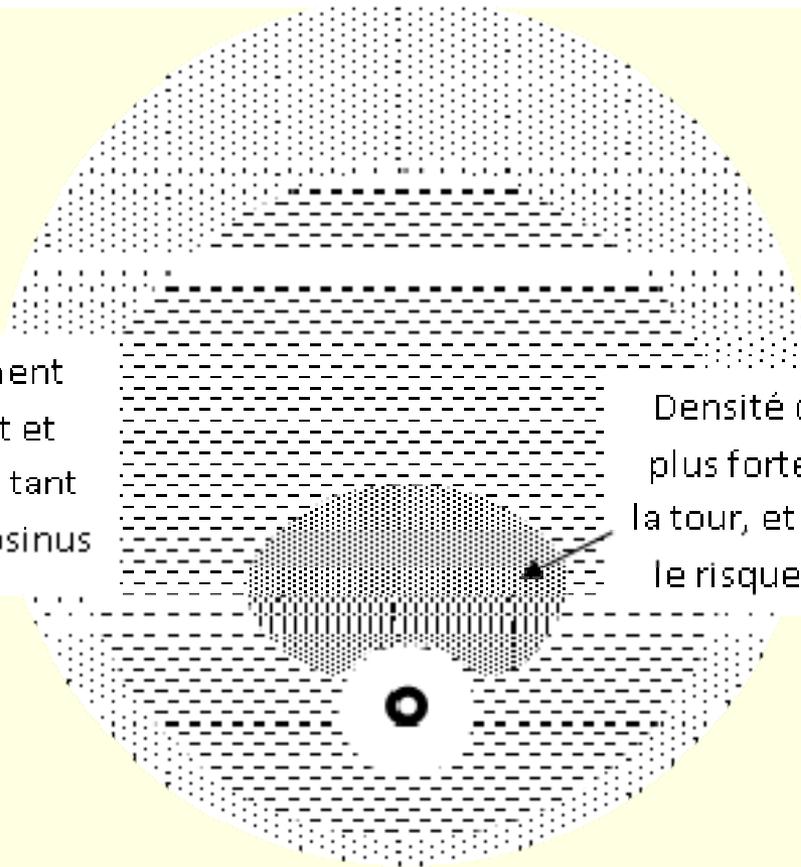
- Ajout d'héliostats dont le rendement optique sera plus faible ;
- Pour augmenter la puissance.

# Arbitrage en faveur de la puissance

On admet des héliostats lointains, et tant pis pour spillage et atténuation

Champ non seulement  
Nord mais aussi Est et  
Ouest, voire Sud, et tant  
pis pour le facteur cosinus

Densité d'héliostats  
plus forte au pied de  
la tour, et tant pis pour  
le risque d'ombrage



# Et enfin le cœur du sujet

---

Ombrage, Facteur cosinus, Spillage, Atténuation

Mais on avait au départ 5 inconvénients :

Où est passé le blocage ?

# Enfin le cœur du sujet

---

On n'a pas de problème de blocage si on peut avoir des héliostats de différentes formes et tailles :

Il suffit de faire un pavage de l'angle solide vu du récepteur, et le tour est joué.

# Enfin le cœur du sujet

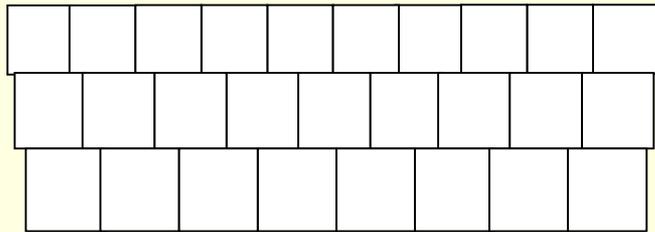
---

Mais, dans la pratique, cette stratégie de pavage de l'angle solide vu du récepteur ne marche pas parfaitement, et on doit tenir compte du blocage, car en fait on respecte au moins deux conditions :

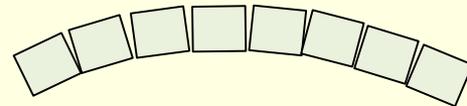
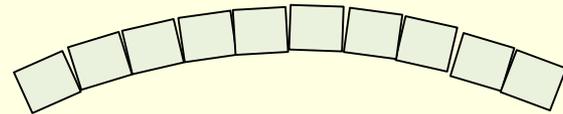
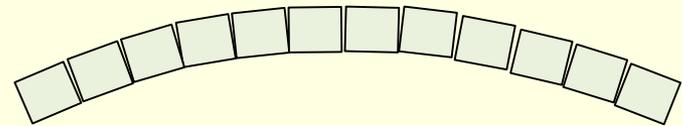
- Tous les héliostats sont identiques (question de coût)
- Ils ne peuvent être trop proches les uns des autres pour ne pas s'entrechoquer ni se faire trop d'ombre

# Enfin le cœur du sujet

C'est dommage (qu'ils ne puissent être trop proches les uns des autres), car sinon il y aurait une solution très simple :



Dans l'espace des angles solides

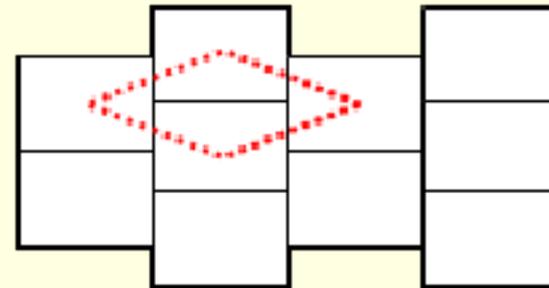
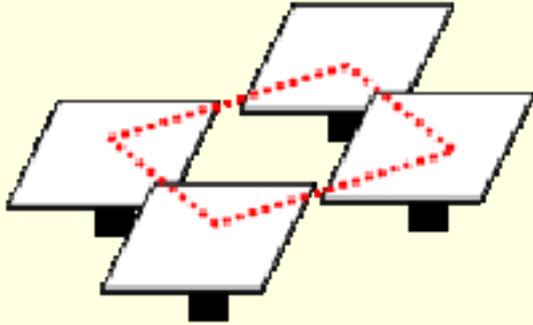


Sur le terrain

# La solution classique

---

Localement, la disposition optimale est la suivante :

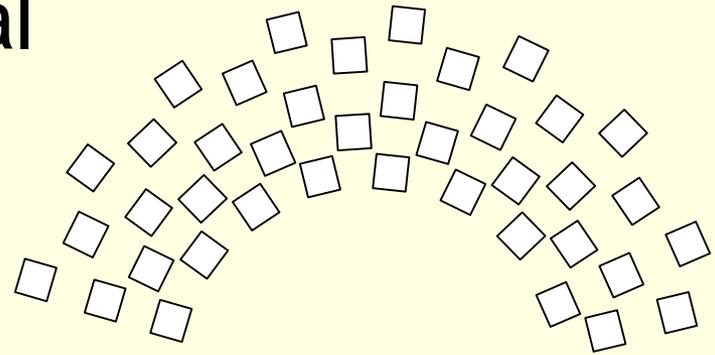


(pavage de l'angle solide)

# La solution classique

---

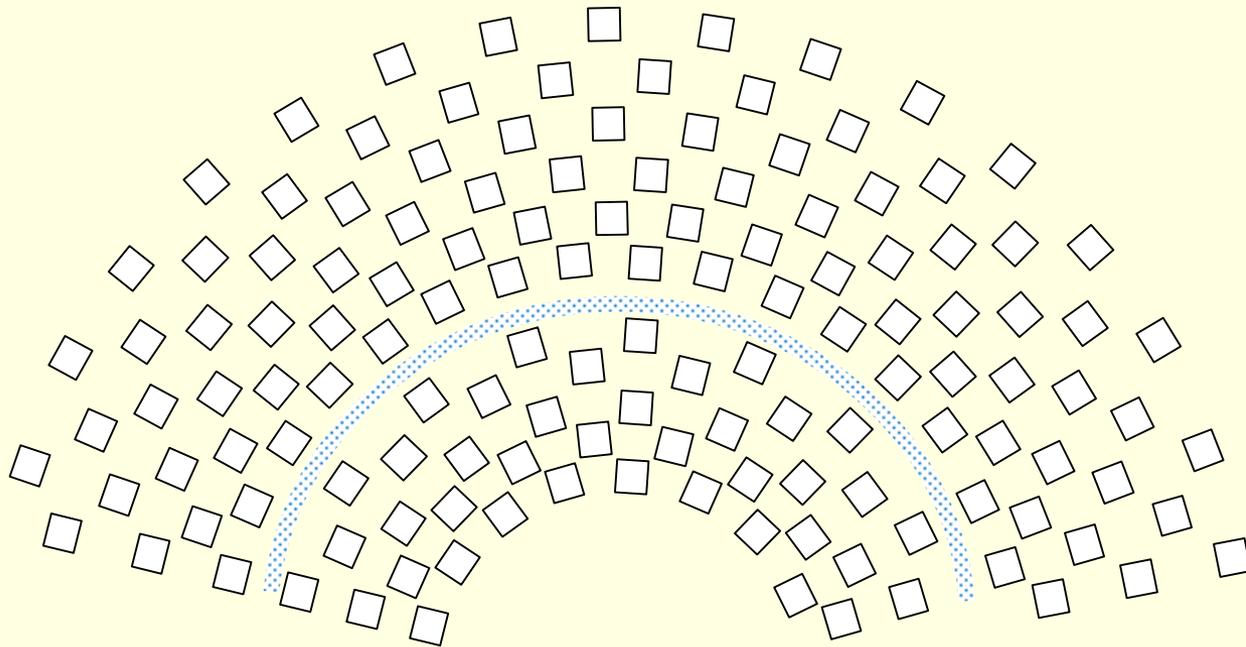
Mais, avec des héliostats assez grands et tous identiques, en étendant cette solution son caractère optimal disparaît :



# La solution classique

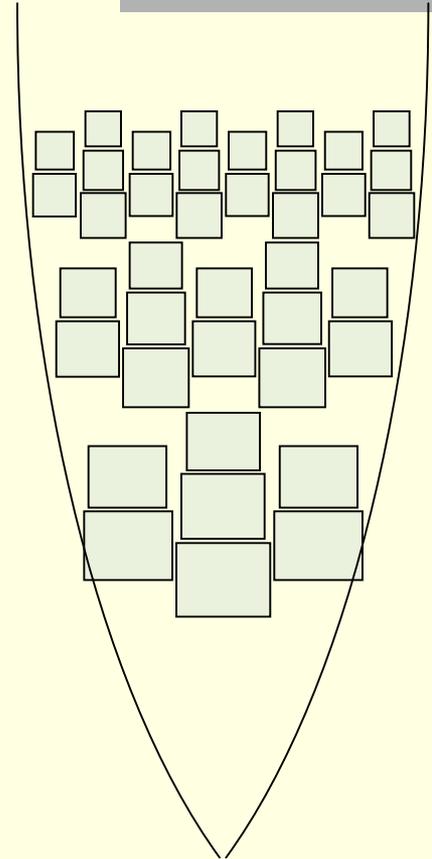
---

On rajoute alors des rangées vides, pour repartir avec des espaces mieux ajustés :



# La solution classique

En matière d'angle solide,  
(représenté dans un fuseau horaire), on voit aussi que  
le pavage est loin d'être  
optimal :



# L'alternative biomimétique

---

En 2012, des chercheurs du MIT et de l'université d'Aix-la-Chapelle en ont déduit qu'il y avait une telle marge de progression sur la puissance (et aussi sur l'ombrage), que l'on pouvait abandonner l'exigence d'un blocage quasi-nul liée à la notion de pavage d'angle solide vu du récepteur.

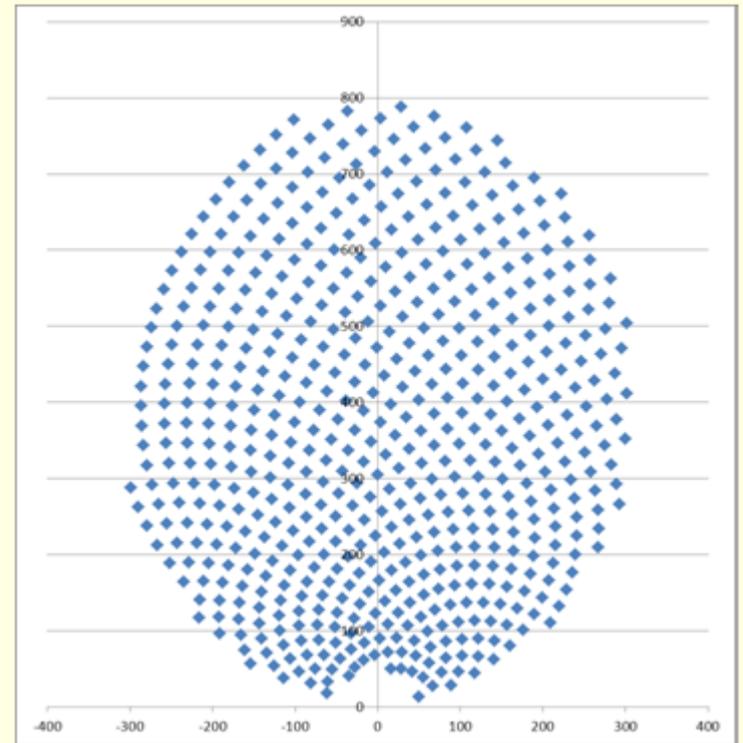
# L'alternative biomimétique

L'original est sur :

[Http://mitsoslab.scripts.mit.edu/index.php?id=1](http://mitsoslab.scripts.mit.edu/index.php?id=1)

(avec une photo de fleur de tournesol pour faire encore plus joli).

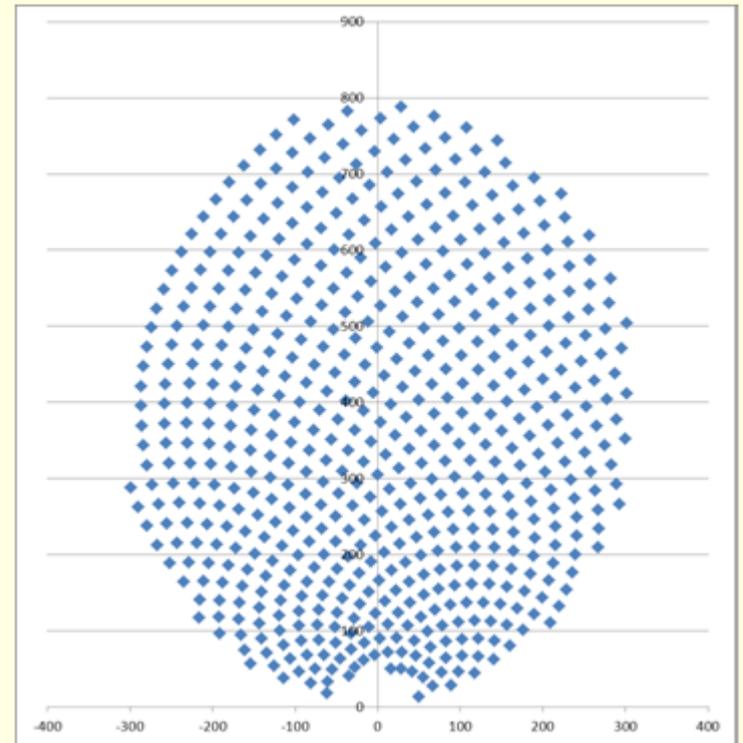
(Faute de pouvoir le copier, j'ai reconstitué une spirale de Fermat quasi-identique - vous noterez juste quelques différences près de l'origine du repère)



# L'alternative biomimétique

Principales caractéristiques :

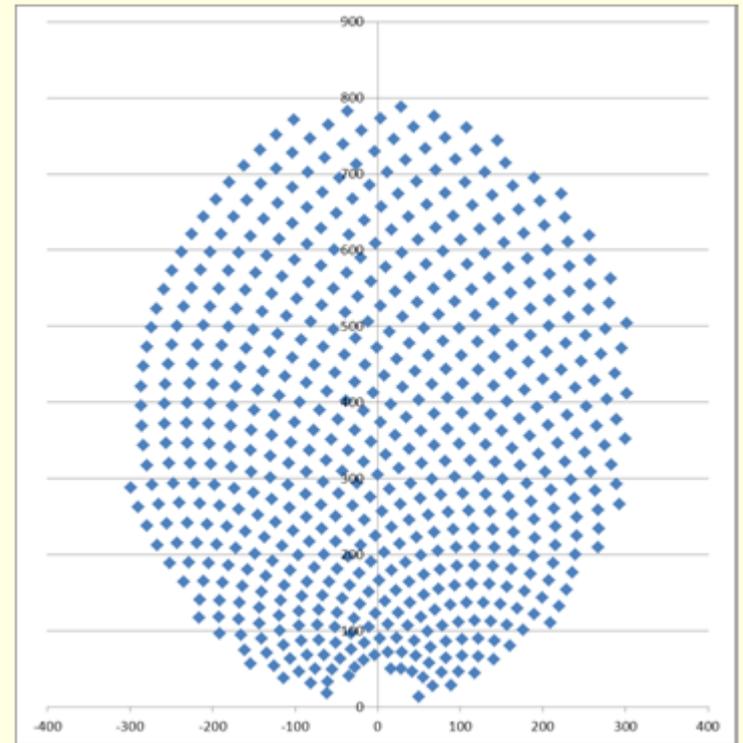
- Aucune zone de transition
- Jamais deux héliostats trop proches ni trop éloignés l'un de l'autre
- Formule mathématique peu intuitive mais utilisant peu de paramètres
- Par rapport à la « solution locale optimale » classique, le risque de blocage est moins bien traité.



# L'alternative biomimétique

Résultats :

- Une amélioration du rendement optique d'environ 0,3 %.
- Mais surtout une réduction de la surface au sol de 10 à 15 % (et avec une même surface au sol on pourrait avoir une plus forte puissance et mieux rentabiliser la tour, le récepteur, la turbine).



# Peut-on faire encore mieux ?

---

Seulement si on agit sur le point faible de cette solution « biomimétique » : son indifférence aux pertes par blocage

→ Par un retour à la recherche « à la main » d'une solution de pavage de l'angle solide vu du récepteur

# Peut-on faire encore mieux ?

---

J'avais expliqué que la solution classique respectait « *au moins deux conditions* :

- *Tous les héliostats sont identiques ;*
- *Ils ne peuvent être trop proches les uns des autres pour ne pas s'entrechoquer ni se faire trop d'ombre. »*

# Peut-on faire encore mieux ?

---

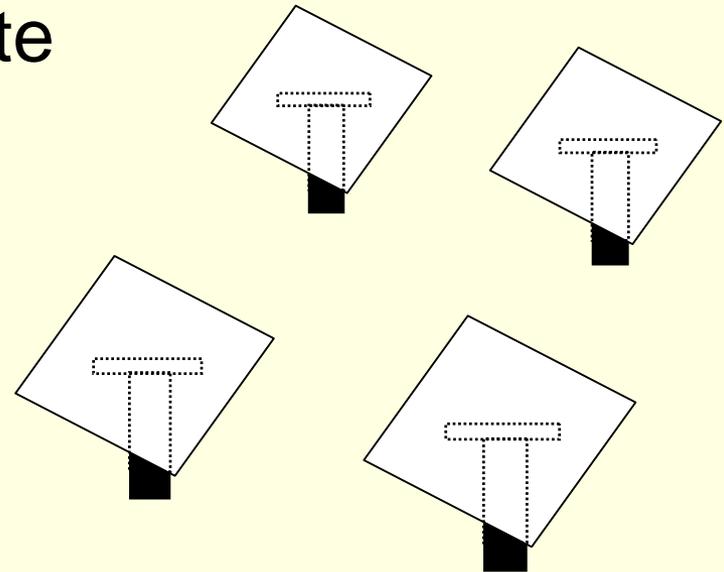
J'avais expliqué que la solution classique respectait « *au moins deux conditions* :

- *Tous les héliostats sont identiques*
- *Ils ne peuvent être trop proches les uns des autres pour ne pas s'entrechoquer ni se faire trop d'ombre. »*

En fait, elle en respecte une 3<sup>ème</sup> : que les héliostats soient des rectangles avec deux côtés horizontaux

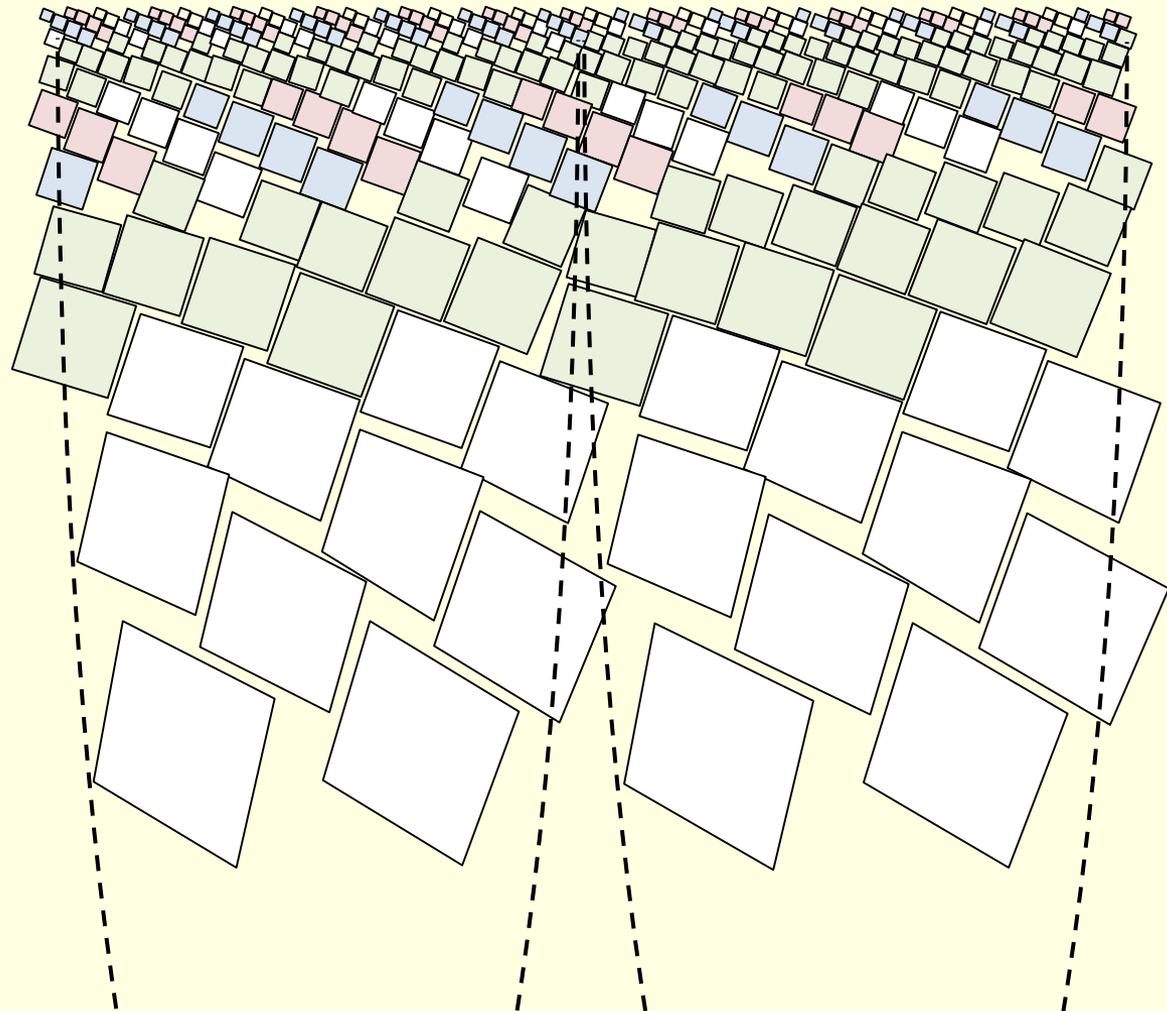
# Peut-on faire encore mieux ?

En levant cette 3<sup>ème</sup> condition, on peut revenir à des héliostats qui, dans l'espace des angles solides, soient côte-à-côte de manière quasi-horizontale, tout en ne l'étant pas dans l'espace réel



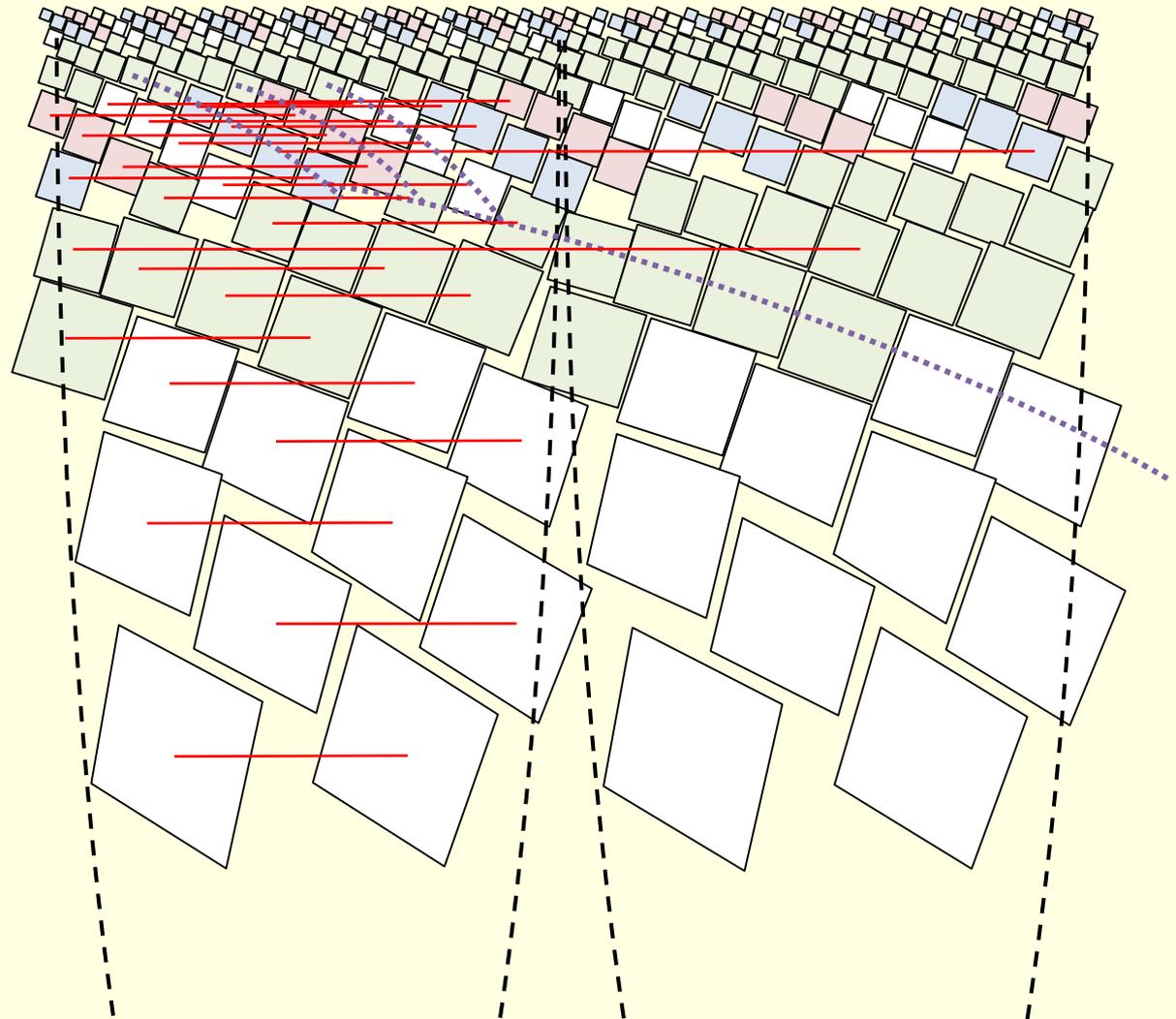
# Peut-on faire encore mieux ?

Dans  
l'espace  
des  
angles  
solides



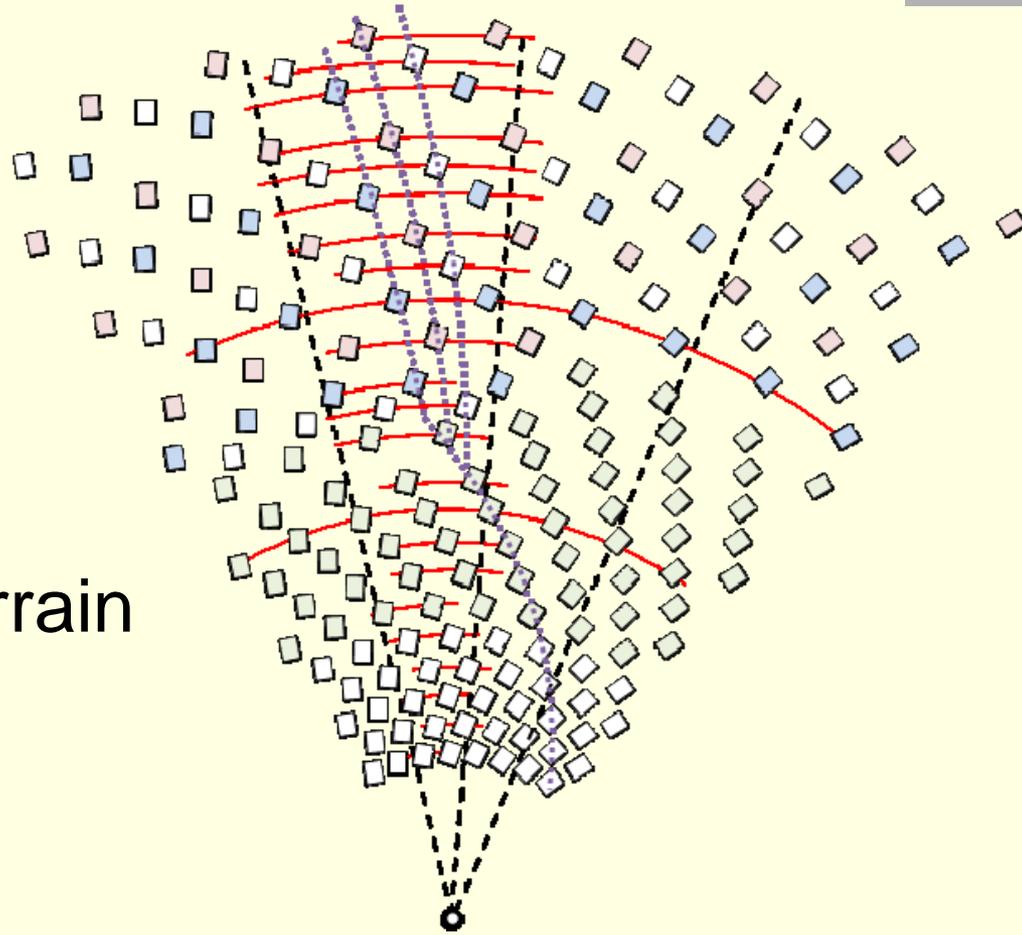
# Peut-on faire encore mieux ?

(préparation  
de la  
projection  
sur le plan  
horizontal  
du sol)



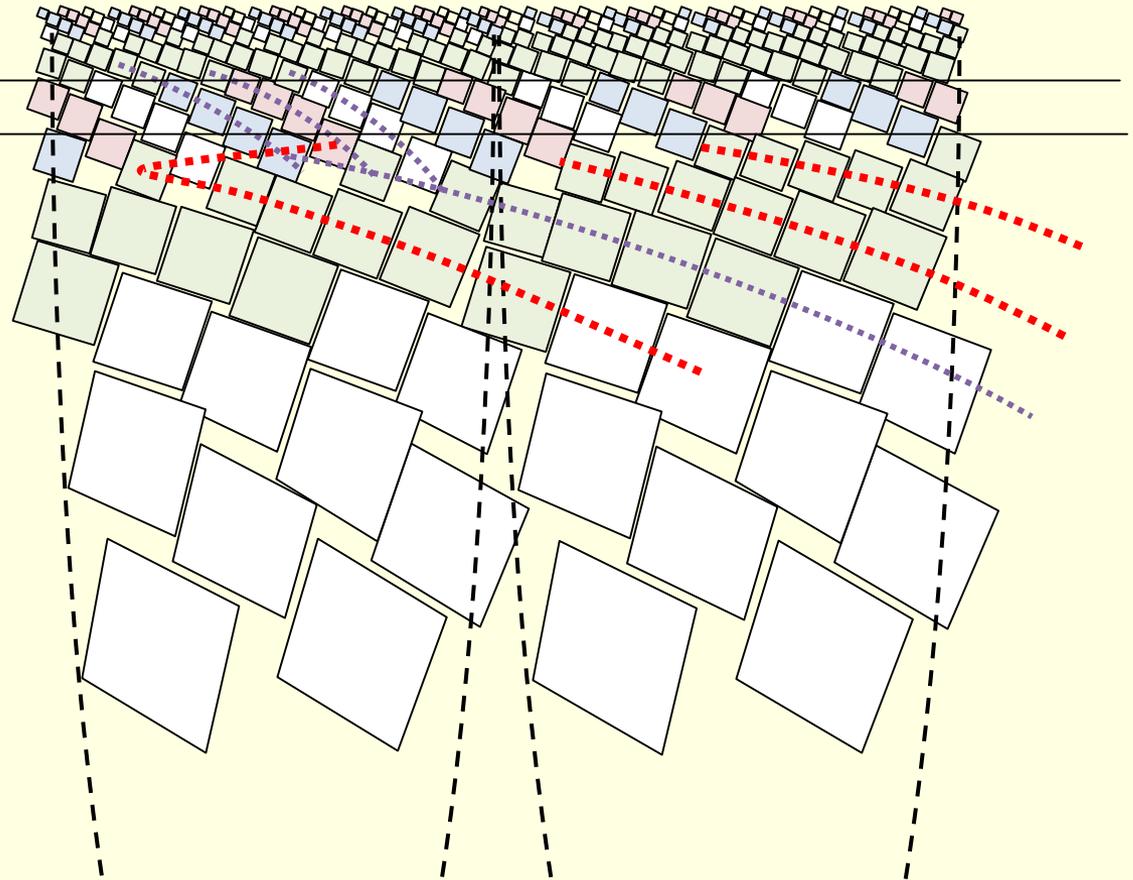
# Peut-on faire encore mieux ?

Sur le terrain



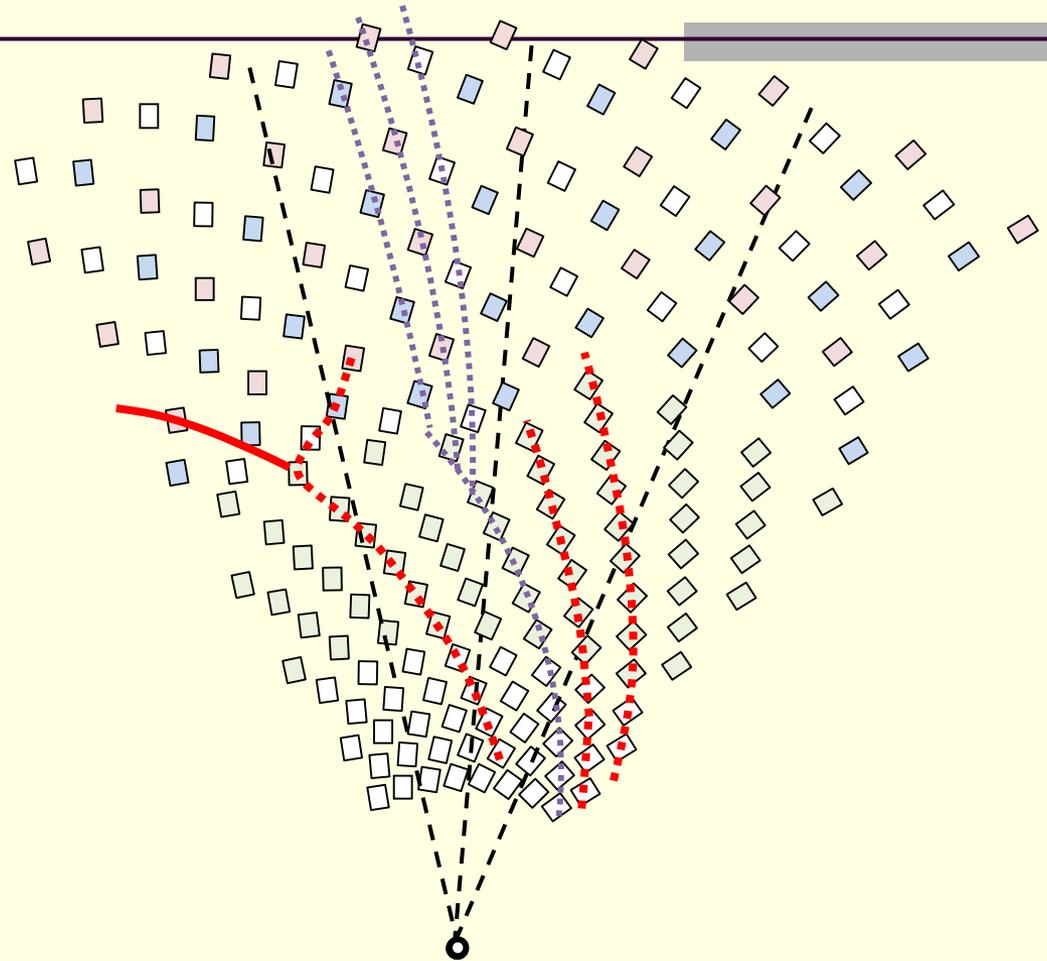
# Une asymétrie pour réduire l'ombrage

Tranche équivalente à condition de ne garder que trois héliostats de chaque couleur



# Une asymétrie pour réduire l'ombrage

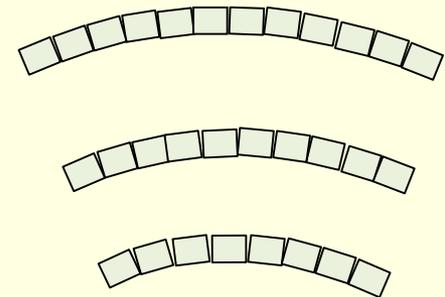
Si la courbe rouge de gauche avait eu une forme similaire à celles de droite, elle se serait poursuivie avec une forte densité d'héliostats selon une orientation est-ouest, générant beaucoup d'ombrage au pire moment, quand le soleil est bas sur l'horizon



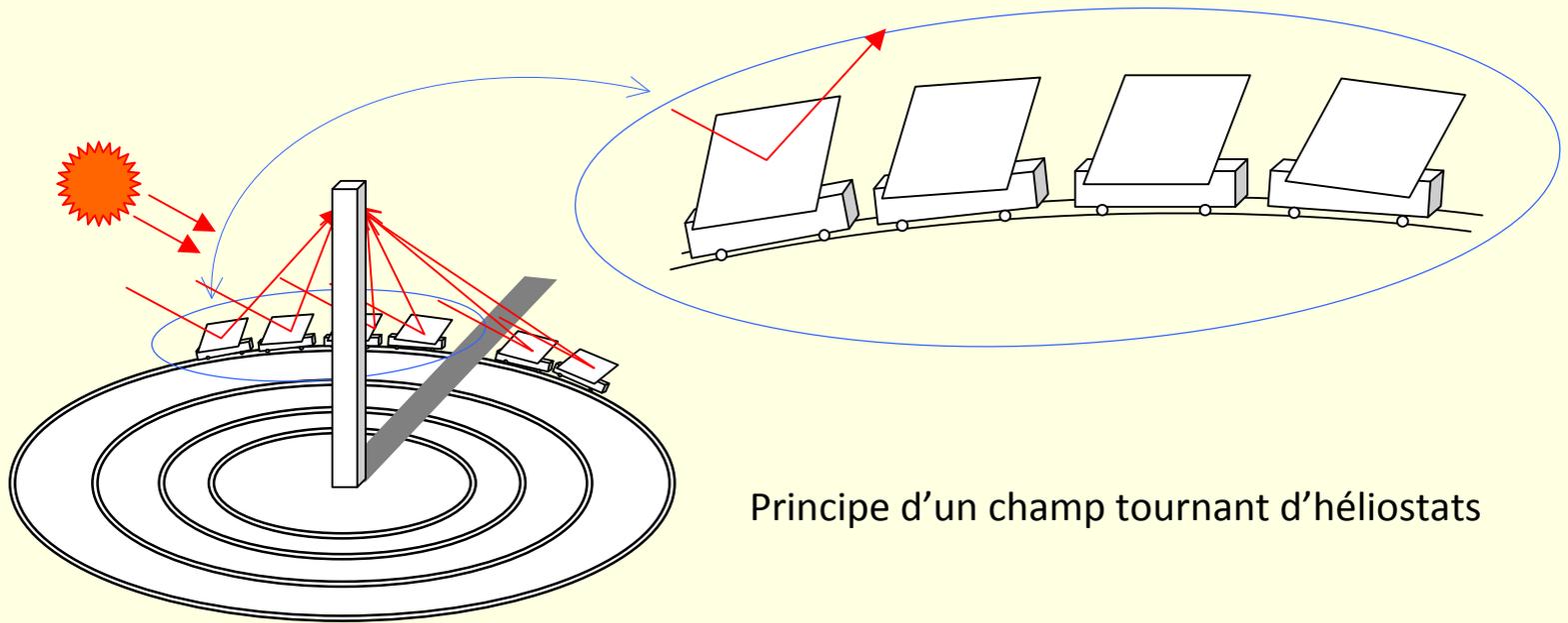
# Une objection possible

Une source de surcoût pourrait-elle être le fait d'avoir à déterminer très précisément la localisation de chaque héliostat, alors que dans la solution classique ils sont parfois disposés sur des rails concentriques ?

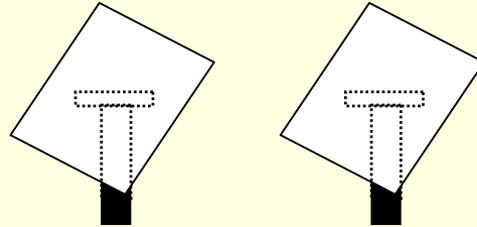
Si c'est le cas, alors j'ai une autre solution pour bien valoriser ces rails et revenir là encore à la disposition idéalement simple que nous regrettons



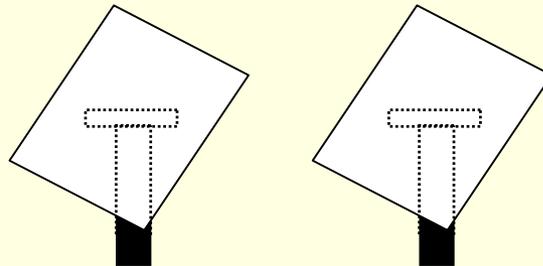
# Le champ tournant d'héliostats



Principe d'un champ tournant d'héliostats



**Merci de votre attention**



# Spirale de Fermat ?

